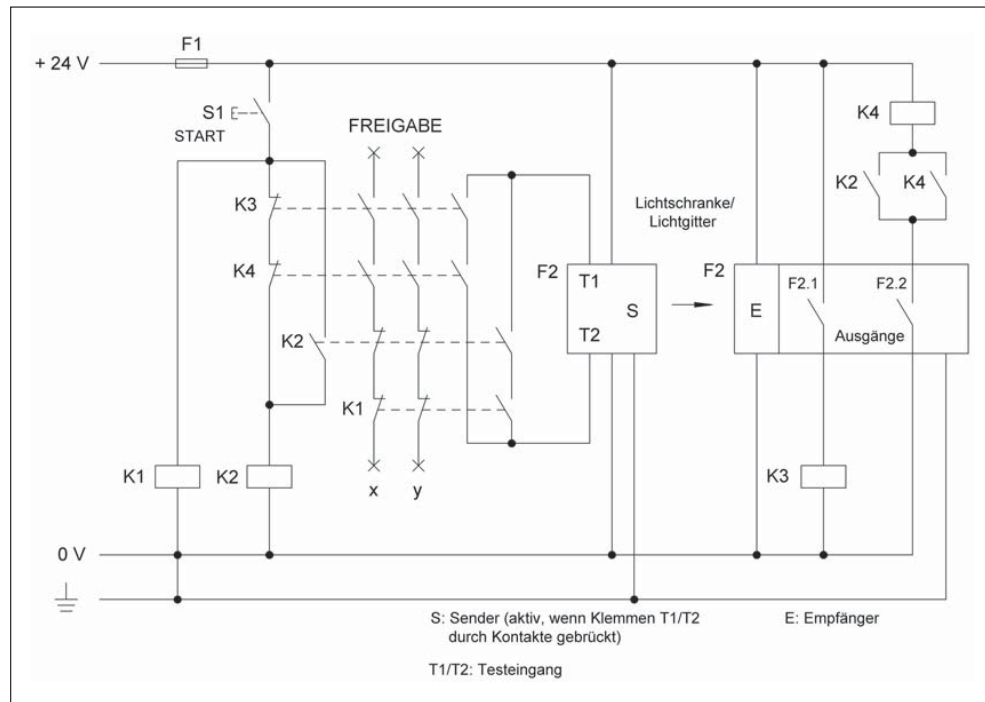


### 8.2.36 Verarbeitung von Signalen einer Lichtschranke – Kategorie 4 – PL e (Beispiel 36)

Abbildung 8.58:  
Elektromechanische  
Einbindung von  
sicherheitsrelevanten  
Signalen in die  
Maschinensteuerung  
am Beispiel einer Licht-  
schranke bzw.  
eines Lichtgitters

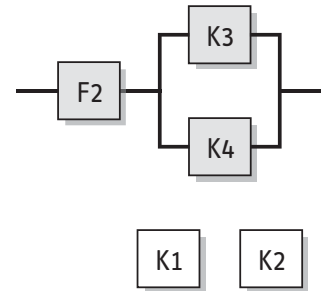


#### Sicherheitsfunktion

- Sicherheitsbezogene Stoppfunktion, eingeleitet durch eine Schutzeinrichtung: Bleibende Stillsetzung einer gefahrbringenden Bewegung bei Zutritt zu einem Gefahrenbereich oder bei Eingriff in eine Gefahrenstelle sowie Anlauf- und Wiederanlaufsperrung

#### Funktionsbeschreibung

- Der Zutritt zu einem Gefahrenbereich oder Eingriff in eine Gefahrenstelle wird durch die Lichtschranke F2 detektiert. Die sicherheitsrelevanten Ausgangssignale der Lichtschranke (Schließer F2.1 und F2.2) entlegen die in versetzter Spulenanordnung an die Spannungsversorgung angeschlossenen Hilfsschütze K3 und K4, die die Freigabesignale x und y sperren.
- Zur Aktivierung des Lichtschrankensenders werden bei betätigter Starttaste S1 die Testeingänge T1 und T2 zunächst über die dann angezogenen Hilfsschütze K1 und K2 miteinander verbunden. K2 kann nur bei zunächst abgefallenen Hilfsschützen K3/K4 zum Anzug mit Selbsthaltung kommen. Bei geschlossener Lichtstrecke erfolgt dann auch der Anzug von K3 und K4. K4 gelangt nur über den Schließerkontakt von K2 zum Anzug mit Selbsthaltung. Mit dem Anzug von K3 und K4 ist bei noch betätigter Starttaste auch die Aktivierung des Lichtschrankensenders mit Selbsthaltung erfolgt, sodass die Starttaste losgelassen werden kann und mit dem Abfallen von K1 und K2 auch die Freigabepfade x und y geschlossen sind. Die Funktion der Anlaufsperrung/Wiederanlaufsperrung verhindert ein gültiges Freigabesignal nach einer Lichtstrahlunterbrechung oder nach einem Spannungsausfall mit darauf folgender Spannungswiederkehr so lange, bis nach einer erneuten Betätigung der Starttaste K3 und K4 wieder zum Anzug gelangen.
- Je ein Schließer von K3 und K4 ist sowohl in beiden Freigabepfaden als auch im Eingangskreis zur Aktivierung des Lichtschrankensenders (Testeingänge T1/T2) eingebunden. Mit dem Verbinden der Testeingänge erfolgt intern im Gerät eine Anlaufprüfung, z.B. durch eine definierte kurzzeitige Austastung des Lichtstrahls, die auf der Empfangsseite erwartungsgemäß nur innerhalb eines engen Zeitfensters als gültig bewertet wird. Bei erfolgreichem Anlauftest werden die Lichtschrankenausgänge frei geschaltet, im Störungs- bzw. Fehlerfall oder bei unterbrochener Lichtstrecke jedoch gesperrt.
- Fehler in den anderen Komponenten der Schaltung (Hilfsschütze, Ausgangskontakte der Lichtschranke, Starttaste), die in Kombination zum Verlust einer Sicherheitsfunktion führen könnten, werden nach einer Lichtstrahlunterbrechung während der Anlauf- bzw. Wiederanlaufprüfung aufgedeckt und verhindern eine erneute Freigabe.



### Konstruktive Merkmale

- Grundlegende und bewährte Sicherheitsprinzipien sowie die Anforderungen der Kategorie B sind eingehalten. Schutzbeschaltungen (z.B. Kontaktabsicherung) wie in den ersten Abschnitten von Kapitel 8 beschrieben sind vorgesehen.
- Die Hilfsschütze K1 bis K4 besitzen zwangsgeführte Kontaktelemente entsprechend DIN EN 60947-5-1, Anhang L. Die Anzugsspannung der Hilfsschütze K3 und K4 muss größer als der halbe Wert der Spannungsversorgung gewählt werden, damit sich ein gleichzeitiger Anzug von K3 und K4 im Falle eines Kurzschlusses im Kabel (Reihenschaltung führt zur Spannungsaufteilung über den Schützspulen) auch in Kombination mit anderen Fehlern nicht gefährbringend auswirken kann.
- Die Ausgangssignale der Lichtschranke F2 werden vom elektrischen Einbauraum des Empfängers gemeinsam in einem Kabel zusammen mit den Versorgungsleitungen zum elektrischen Einbauraum der Maschinensteuerung geführt. Durch Anwendung des Ruhestromprinzips und des Prinzips der versetzten Spulen (K3, K4) im geerdeten Steuerstromkreis werden alle im Kabel auftretenden Unterbrechungen, Erdschlüsse und Querschlüsse im aktivierten Zustand der Lichtschranke unmittelbar bemerkt (u.a. durch Ansprechen der Sicherung F1). Ein Kurzschluss, der die Überbrückung eines einzelnen Ausgangs bewirkt, wird spätestens nach dem Unterbrechen des Lichtstrahls der Lichtschranke beim erneuten Betätigen der Starttaste aufgedeckt. Daher ist gemeinsame Führung der Ausgangssignale innerhalb eines Kabels zulässig.
- Die Lichtschranke entspricht dem Typ 4 gemäß DIN EN 61496-1 und DIN CLC/TS 61496-2 sowie PL e.

### Bemerkungen

- Wird die Schaltung in Anwendungen eingesetzt, bei denen die Lichtschranke sehr selten schaltet, so muss die Möglichkeit des Verlustes der Sicherheitsfunktion durch Fehlerhäufung (zwei einzeln unbemerkte Fehler) betrachtet werden. Periodische Prüfungen können einem solchen Verlust entgegenwirken.
- Angaben des Herstellers zur maximalen Schalthäufigkeit der Lichtschranke sind zu berücksichtigen.

### Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit

Es wird die Ausfallwahrscheinlichkeit der sicherheitsbezogenen Stoppfunktion, die auch im sicherheitsbezogenen Blockdiagramm dargestellt ist, berechnet. Werden die Kontakte der Freigabepfade x und y steuerungstechnisch weiterverarbeitet, so müssen diese zusätzlichen Steuerungsteile, z.B. Leistungsschütze, bei der Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit berücksichtigt werden.

- Die Lichtschranke F2 liegt als handelsübliches Sicherheitsbauteil vor. Die Ausfallwahrscheinlichkeit  $3,0 \cdot 10^{-8}$ /Stunde [G] wird am Ende der Berechnung addiert.
- $MTTF_d$ : Für K3 und K4 gilt wegen der unbekannten Lasten  $B_{10d} = 400\,000$  Zyklen [N]. Bei 220 Arbeitstagen, 8 Betriebsstunden/Tag und 120 Sekunden Zykluszeit beträgt  $n_{op} = 52\,800$  Schaltspiele/Jahr und damit die  $MTTF_d$  75 Jahre. Dies ist gleichzeitig die  $MTTF_d$  pro Kanal („hoch“).
- $DC_{avg}$ :  $DC = 99\%$  für K3 bis K4 ergibt sich aus der Einbindung der zwangsgeführten Öffnerkontakte in die Ansteuerung von K2. Dies entspricht gleichzeitig  $DC_{avg}$  („hoch“).
- Ausreichende Maßnahmen gegen Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache (75 Punkte): Trennung (15), bewährte Bauteile (5), FMEA (5), Schutz gegen Überspannung usw. (15) und Umgebungsbedingungen (25 + 10)

- Das Subsystem K3/K4 entspricht Kategorie 4 mit hoher  $MTTF_d$  pro Kanal (75 Jahre) und hohem  $DC_{avg}$  (99 %). Dies ergibt eine mittlere Wahrscheinlichkeit gefährlicher Ausfälle von  $3,37 \cdot 10^{-8}$ /Stunde. Die Gesamtausfallwahrscheinlichkeit wird durch Addition der Wahrscheinlichkeit gefährlicher Ausfälle von F2 ( $3,0 \cdot 10^{-8}$ /Stunde) ermittelt und beträgt  $6,37 \cdot 10^{-8}$ /Stunde. Dies entspricht PL e. Unter Umständen ist zur Komplettierung der Sicherheitsfunktion zusätzlich die Ausfallwahrscheinlichkeit nachgeordneter Leistungselemente zu addieren.
- Die verschleißbehafteten Elemente K3 und K4 sollten nach jeweils ca. sieben Jahren ( $T_{10d}$ ) ausgetauscht werden.

#### Weiterführende Literatur

- DIN EN 60204-1: Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60204-1:2005, modifiziert). Abschnitt 9.4.3: „Schutz gegen fehlerhaften Betrieb durch Erdschlüsse, Spannungsunterbrechungen und Verlust der elektrischen Durchgängigkeit“. Beuth, Berlin 2007

The screenshot displays the BGIA software interface. On the left, a project tree shows the following structure:

- Projekte
  - PR 36 Verarbeitung von Signalen einer Lichtschranke
    - SF Sicherheitsbezogene Stopfunktion, einge...
      - SB Lichtschranke
        - SB Aktoren
          - CH Kanal 1
            - BL Hilfsschütz K3
              - EL Hilfsschütz K3
          - CH Kanal 2
            - BL Hilfsschütz K4
              - EL Hilfsschütz K4
          - TE Testkanal

Below the tree, a table shows the safety-related stop function details:

Sicherheitsbezogene Stopfunktion, eingeleitet	
PLr	e
PL	e
PFH [1/h]	6,37E-8
SB Aktoren	
PL	e
PFH [1/h]	3,37E-8
Kat	4
MTTFd [a]	75,76 (High)
DCavg [%]	99 (High)
CCF	75 (erfüllt)

The main window shows the 'Subsystem BGIA' configuration. It includes tabs for 'Dokumentation', 'PL', 'Kategorie', 'MTTFd', 'DCavg', 'CCF', and 'Blöcke'. The 'Kategorie' tab is active, showing two channels:

- Kanal 1:**
  - BL Hilfsschütz K3: DC [%] 99 (High), MTTFd [a] 75,76 (High)
- Kanal 2:**
  - BL Hilfsschütz K4: DC [%] 99 (High), MTTFd [a] 75,76 (High)

Abbildung 8.59:  
PL-Bestimmung mithilfe  
von SISTEMA